

综合找矿方法在河台金矿找矿预测中的应用

朱江建^{1,2}, 陈广浩³, 曾乔松¹, 龚贵伦^{1,2,4}, 易金^{1,2}, 龚朝阳⁵, 黄栋林⁵, 林舸¹

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所 矿物学与成矿学重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 中国科学院 南海海洋研究所 边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510301; 4. 中国人民武装警察部队 黄金第十一支队, 湖南 宁乡 410600; 5. 广东高要河台金矿, 广东 肇庆 526127)

摘要: 河台金矿是一个典型的与韧性剪切带有关的金矿床, 也是目前粤西、桂东南已发现的最大的金矿床。为了给深边部的找矿提供科学依据, 本文应用伽马能谱、地电化学及数值模拟产生的体积应变异常带对本区进行了找矿预测实验研究。伽马能谱 K 异常带指示了本区糜棱岩化及热液蚀变过程中引起的钾化蚀变作用, 金矿体与糜棱岩化带主要分布在 K 异常带中; 地电化学异常带可能代表了本区不同深度矿体在地表的垂直投影; 体积应变异常带及其附近有利于发展为本区的含矿糜棱岩化带。在同一构造成矿体系中, 根据相似类比原则, 表明以上三种方法在本区进行找矿预测可行。综合以上三种方法, 圈定了 3 个可能的含矿带, 建议对其进行验证。

关键词: 河台金矿; 数值模拟; 伽马能谱; 地电化学; 体积应变; 找矿预测

中图分类号: P542; P611.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1552(2012)02-0240-008

0 引言

粤西河台金矿是典型的与韧性剪切带有关的金矿床(段嘉瑞等, 1992a)。含金韧性剪切带是广宁-罗定深层次推覆构造前缘的一个陡倾带(张伯友等, 1995), 位于华南云开大山北翼、罗定-广宁和吴川-四会断裂带交汇部位。韧性剪切的动力来源于印支板块与华南板块三叠纪碰撞效应向华南内陆的延伸(图 1 左上角)(Zhang and Cai, 2009; Cai and Zhang, 2009)。钟增球等(1997)指出它的成矿模式与 Bonnemaison 和 Marcoux(1990)总结的剪切带三阶段金矿化模式相仿。糜棱岩化过程中的成矿温度主要集中于 300 ~ 340 °C, 成矿时代主要集中于 197 ~ 168 Ma(朱江建等, 2011a)。然而, 糜棱岩化可能并未形成达到工业品位的金矿体, 其后的热液成矿期才是河台金矿的主要成矿期(Zhang et

al., 2001; 刘伟, 2004; 翟伟等, 2006; 朱江建等, 2011a)。由于糜棱岩化带, 尤其是硅化糜棱岩(王斯亮和李得钦, 2000; 伍思洪, 2005), 在后期脆性变形作用下易产生脆性破裂, 所以热液成矿作用往往叠加于糜棱岩化带上。

鉴于糜棱岩化带与矿体的密切关系及目前的找矿勘查需要, 在我们应用地电化学测量(夏永健等, 2008; 朱江建等, 2011b)、EH4 测量(王彪等, 2009)等单一找矿方法对本区进行找矿研究后, 本文通过对河台云西矿床开展伽马能谱、地电化学和数值模拟的综合研究, 寻找糜棱岩化带和识别可能的矿化异常信息, 进而更好地服务于矿山深边部找矿勘探。

1 矿床地质特征

河台金矿由北往南依次出露震旦系、奥陶系、志

收稿日期: 2011-08-11; 改回日期: 2011-10-31

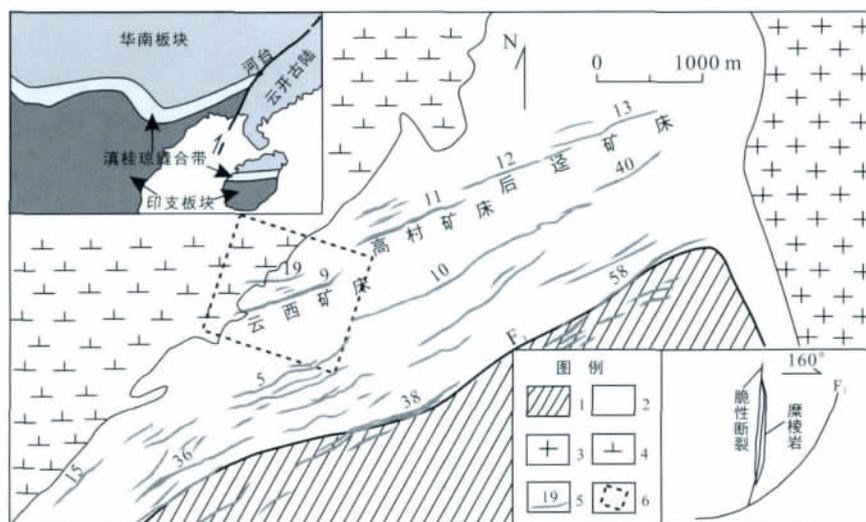
项目资助: 国家自然科学基金项目(41172082)、国家基础研究计划(973)项目(2007CB411402)及中国科学院广州地球化学研究所创新项目(A15-030513)联合资助。

第一作者简介: 朱江建(1985-), 男, 博士生, 构造与找矿预测研究方向。Email: zjj3xsj@163.com

通信作者: 陈广浩, 男, 研究员。Email: chengh@gzb.ac.cn

留系。震旦系是本区主要的含矿地层,以局部混合岩化的石英云母片岩、石英岩为主;奥陶系与志留系以薄层浅变质砂岩、粉砂岩及薄层板岩为主。 F_1 断裂是矿区主要的导矿构造之一,位于矿区南部,倾向NW,倾角 $55^\circ \sim 70^\circ$ 。含矿构造为糜棱岩化带及发育

于其中的脆性断裂(刘伟等,2006),其中糜棱岩化带倾向NW,局部反转,倾角 $60^\circ \sim 85^\circ$ (李新福和湛培任,2007)。导矿构造(F_1)与含矿构造在剖面上呈“y”字型(图1右下角)。矿区西部出露黑云母斜长花岗岩,东部出露巨斑状黑云母二长花岗岩(图1)。



1. 奥陶系与志留系薄层浅变质砂岩、粉砂岩及薄层板岩; 2. 震旦系局部混合岩化的石英云母片岩、石英岩; 3. 巨斑状黑云母二长花岗岩; 4. 黑云母斜长花岗岩; 5. 糜棱岩化带及其编号; 6. 模拟区边界。

图1 河台金矿区地质简图(据陈骏和王鹤年,1993;朱江建等,2011a;蔡建新,2009修改)

Fig.1 Simplified geological map of the Hetai goldfield, Guangdong province, South China

糜棱岩中发育S面理和糜棱岩C面理,变形程度与破碎程度由中心向边界递减,即以超糜棱岩为中心,向两侧渐变为糜棱岩、初糜棱岩、糜棱岩化岩石。原岩有变质岩、伟晶岩、黑云母斜长花岗岩(矿区西北部)、混合岩等。韧性剪切带分布在 F_1 断裂南北两侧,呈平行条带状,成群成带地夹在相对刚性的岩块中间,总宽度约3000m,其中北侧约2500m,南侧约500m。糜棱岩化带平面形态大部分为狭长带状,长一般500~1000m,宽数十厘米至数十米。根据围岩条件和形态规模,可分为北带、中带和南带。其中,北带距 F_1 断裂1500~2000m,全长约5500m,由9、19、11、12、13等糜棱岩化带组成,围岩为混合岩化片岩,是矿区主要的矿化带;中带距 F_1 断裂500~1500m,全长大于9000m,由15、5、10、40等糜棱岩化带组成,围岩为混合岩,形态复杂,有“小蚂蝗”之称;南带距 F_1 断裂500m以内,全长大于9000m,由36、38、58等糜棱岩化带组成,围岩以混合岩化片岩、千枚状粉砂质页岩、变质石英粉砂岩为主,部分为混合岩(图1)。与矿化相关的蚀变主要有硅化与黄铁矿化。矿石类型主要有浸染

状硅化千糜岩金矿石和具网脉状金属硫化物叠加的硅化千糜岩金矿石。伴生金属矿物主要包括黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、菱铁矿、毒砂;非金属矿物主要有石英、绢云母;副矿物有电气石、磷钇石、锆石、榍石、独居石等(刘伟等,2006)。

2 含矿糜棱岩的特征及其形成条件推断

目前所发现的金矿体基本位于糜棱岩化带中(51号含矿石英脉除外),但不是所有的糜棱岩化带都含矿。能形成工业矿体的糜棱岩须具备下列5个条件:(1)糜棱岩化带产于区内最主要的矿源层震旦系中(王鹤年等,1989;陆建军,1993;张伯友等,1993);(2)糜棱岩具有一定的规模,长度一般在几百米以上;(3)有沿脉大断裂贯穿整个糜棱岩化带,深部要有导矿通道;(4)糜棱岩化带中有次生张性裂隙导矿和容矿;(5)糜棱岩形成较早,糜棱岩化程度较高(李新福和湛培任,2007)。目前所发现的金矿体主要分布于9、19号糜棱岩化带(云西矿床)、11号糜棱岩化带(高村矿床)、12、13

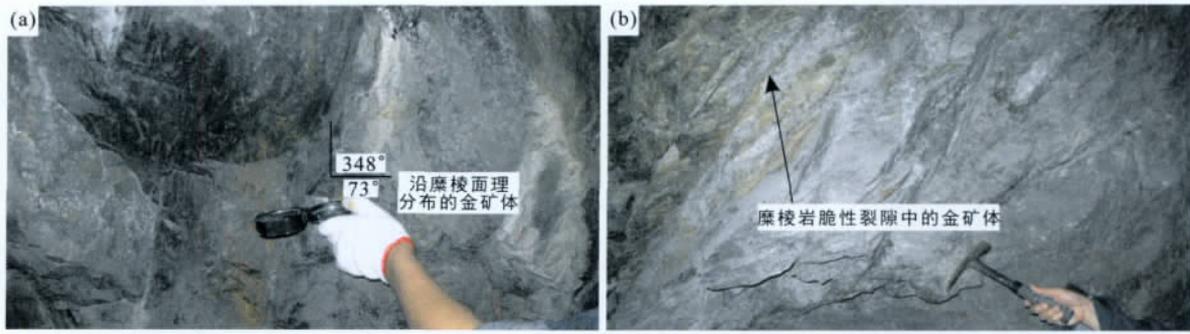


图 2 糜棱岩化带与矿体的空间关系

Fig. 2 The spatial relationship between the mylonitized zone and orebodies

号糜棱岩化带(后逢矿床)中。这些糜棱岩化带平面上呈左阶斜列产出(图 1)。矿脉厚度从几厘米到几十米不等,矿体主要沿糜棱岩的 C 面理(图 2a)及糜棱岩中的脆性裂隙分布(图 2b)。

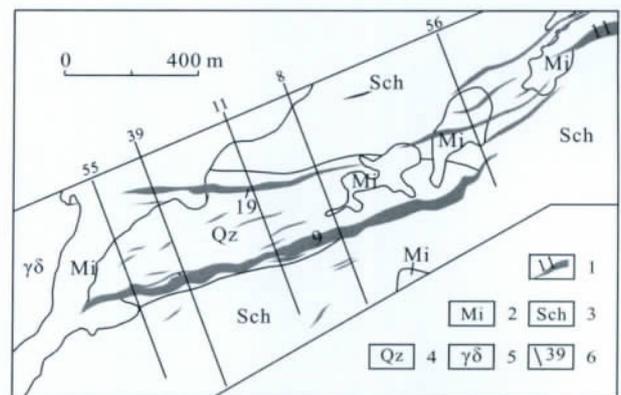
蔡建新(2009)通过求解石英的捕获温度及 Si 含量,同时结合多硅白云母 $P-T$ 条件与 Si 含量的经验关系(Massonne and Schreyer, 1987),推断河台金矿剪切变形压力为 420 ~ 650 MPa。差异压力可通过石英亚颗粒进行估测(Mercier, 1977),多数样品在 160 ~ 210 MPa; 应变速率可通过石英动态重结晶颗粒与亚晶进行估测(Twiss, 1977),其范围为 $1.13 \times 10^{-11} \sim 3.72 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$ (段嘉瑞等, 1992b),一般区域性应变速率为 $10^{-13} \sim 10^{-15} \text{ s}^{-1}$ (Pfiffner and Ramsay, 1982),说明糜棱岩化带形成时的应变速率较快。Stipp and Heilbronner(2002)、Frederico et al.(2010)认为石英发生动态重结晶的起始温度为 300 °C, Pryer(1993)认为长石发生动态重结晶的起始温度为 500 °C。河台金矿石英发生动态重结晶,而长石基本上只是发生脆性变形,因此限定糜棱岩化带形成时的温度为 300 ~ 500 °C。数值模拟结果表明,糜棱岩形成于 $108^\circ - 288^\circ$ 方位的挤压作用(朱江建等, 2011a)。

3 各种异常带在本区的指示意义

数值模拟区的边界如图 1 所示,伽马能谱测量在研究区的 39、8、56 号勘探线开展; 地电化学测量在研究区的 55、39、11、8、56 号勘探线开展(图 3)。

3.1 伽马能谱钾(K)异常带

绢云母是含钾矿物,可引起伽马能谱测量的 K 高异常(潘勇飞, 1994)。结合河台金矿的地质实际,提出本区的 K 异常有两种原因。一是糜棱岩化形成的 K 异常。主要证据有:(1)河台金矿绢云母



1. 糜棱岩化带及其编号; 2. 混合岩; 3. 以片岩为主的变质岩组合; 4. 以片状石英岩为主的变质岩组合; 5. 黑云母斜长花岗岩; 6. 测线位置及其编号。

图 3 地电化学与伽马能谱测量所在勘探线位置图

Fig. 3 The exploration lines for gamma spectrometry and geoelectrical measurement

石英干糜岩的流体包裹体中 K^+ 浓度较高,为形成大量绢云母提供了物质条件(何文武和张文淮, 1993); (2) 剪切造成的细粒化可促使流体向糜棱岩化带中汇聚(Oliver, 2001; Musumeci, 2002),指示了糜棱岩化过程中水岩反应的进行,而模拟实验表明水岩反应过程中长石向绢云母的转化很容易发生(Zhao et al., 2001); 镜下观察也表明河台金矿糜棱岩化过程中长石向绢云母转化(图 4a、b)是普遍现象(岳石, 1990)。镜下统计表明,初糜棱岩中绢云母含量为 5% ~ 25%, 糜棱岩中为 20% ~ 50%, 超糜棱岩中为 20% ~ 65%, 说明绢云母含量与剪应变强度为正相关关系。结合含金糜棱岩的矿化强度与剪应变强度也为正相关关系(段嘉瑞等, 1992a), 及大量绢云母在动力变质期的生成有利于热液成矿期硅化作用的进行(何文武和张文淮, 1993), 表明糜棱岩化形成的 K 异常带与糜棱岩化带中矿体的

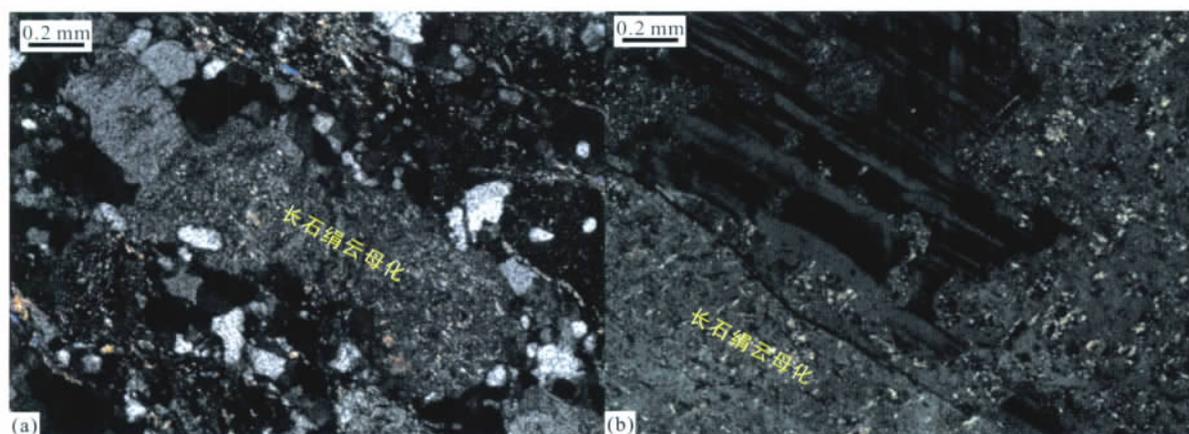


图4 糜棱岩中的长石绢云母化

Fig. 4 Micrographs showing sericitization of feldspar in the mylonites

位置一致。本区绢云母的另一成因是热液期的绢云母化。虽然绢云母化与硅化、黄铁矿化(与矿化密切相关)不是一个期次(刘伟, 2004),但糜棱岩化带,尤其是硅化糜棱岩(王斯亮和李得钦, 2000; 伍思洪, 2005),在后期(脆性变形时期)应力作用下易于产生脆性破裂,表明热液期的绢云母化也同样主要发育于糜棱岩带及其附近。这较好地解释了研究区伽马能谱K异常带的宽度大于9号含矿糜棱岩化带的宽度(图5)。综上所述,伽马能谱的K异常带揭示了本区糜棱岩化或热液蚀变过程中引起的钾蚀变作用,含金糜棱岩带主要发育在K异常带中。

3.2 地电化学异常带

地电化学找矿实践表明,地电化学异常带代表了不同深度矿体在地表的垂直投影(李晓勇, 2002)。与常规化探方法相比,地电化学找矿方法的主要优点是灵敏度高、预测深度大(罗先熔和杨晓, 1989; 谭克仁, 2000; 文美兰等, 2010; 曹中煌等, 2010);与物探方法相比,地电化学找矿方法的主要优点是避免了地球物理找矿方法的多解性。据前人研究(罗先熔, 1994; 罗先熔等, 1997),地电化学找矿适用于地表较厚土壤层覆盖的糜棱岩化蚀变岩型的金矿。测量结果表明,本区9号含矿糜棱岩化带上方或倾向侧上方地电化学高异常明显(图5),表明地电化学异常带揭示了河台金矿的含金糜棱岩带的存在与产出位置。值得注意的是,地电化学在河台金矿的应用,要结合实际情况,考虑可能的非矿致异常与非地电化学异常区可能含矿的情况(朱江建等, 2011b)。

3.3 体积应变异常带

构造-流体成矿数值模拟实验,前人已经开展

了一些有益的探讨(Liu and Peng, 2003; Zhang et al., 2007; 龚发雄等, 2009; Liu et al., 2010; 胡才志等, 2010; 桑广森等, 2010; 赵义来和刘亮明, 2011; 钱建平等, 2011)。地质构造变形数值模拟是采用数学物理方法对相关地质学问题的科学描述,并采用理论分析和数值模拟实验方法,对所描述的相关地质学过程进行定量化求解(林舸等, 2005)。

本文首次运用模拟产生的体积应变异常带对本区进行找矿预测研究。鉴于本次数值模拟所遵从的地质依据(朱江建等, 2011a),认为模拟结果在理论上是可靠的。考虑到本区各岩性的实测参数不能完全代表糜棱岩化带形成时的参数及糜棱岩形成过程中相关的参数是变化的,而本次模拟的整个过程中相关参数保持不变等因素,认为体积应变异常带及其附近有利于发展为本区的含金糜棱岩化带(朱江建等, 2011a)。

体积应变异常带与糜棱岩化带、K异常带、地电化学异常带对比如下: I号体积应变异常带与9号糜棱岩化带的位置、总体方位、宽度与长度都较为一致; II号体积应变异常带东半段与19号糜棱岩化带东半段的位置、方位、规模与长度都较为一致,西半段与19号糜棱岩带西半段的方位相差较大; III号体积应变异常带处未发现糜棱岩化带,但其西半段在地电化学异常带与伽马能谱异常带内,东半段也与伽马能谱异常带较为吻合,只是稍偏南; IV号体积应变异常带处未发现糜棱岩化带,但其在地电化学高异常带内且与伽马能谱K高异常带稳合(图5)。综上所述,体积应变异常带对本区进行找矿预测具有参考意义。

4 找矿预测

4.1 找矿预测可行性分析

根据 39、8、56 号勘探线的伽马能谱测量结果(图 3),在研究区圈定了三条主要的 K 异常带(图 5);根据 55、39、11、8、56 号勘探线的地电化学测量结果(图 3),在研究区圈定了三条地电化学异常带(图 5);3 条体积应变异常带也标示在图 5 中。

9 号糜棱岩带是本区已开采的含金糜棱岩带(已从 160 m 中段开采至地下 -140 m 中段)而 19 号糜棱岩化带的含矿性(尤其是深部的)还未确定。考虑到 19 号糜棱岩化带与本区主要的含金糜棱岩化带(如 9 号糜棱岩化带)的方位相差较大(图 5),且与 K、地电化学、体积应变异常带的方位相差也较大(K、地电化学、体积应变异常带的方位与 9 号糜棱岩化带的一致),说明 19 号糜棱岩化带真正的延伸方位还待商榷(19 号糜棱岩化带可能由多条尖灭侧现的糜棱岩化带组成)。鉴此,本次主要通过 9 号糜棱岩化带的对比研究,探讨 K、地电化学、体积应变异常带在本区找矿预测的可行性。

9 号糜棱岩化带及其附近如上三种异常带的空间位置与 9 号糜棱岩化带的空间位置较为吻合;9 号糜棱岩化带围岩的地质特征(主要为云母石英片岩)与该带以外的三种异常带的地质特征较为一致;9 号糜棱岩化带及其附近三种异常带的特征(方位与规模)分别与该带以外同种异常带的特征较为

一致(图 5)。在同一构造成矿体系中,根据相似类比原则,说明了以上三种方法在本区进行找矿预测的可行性。

4.2 找矿预测可靠性分析

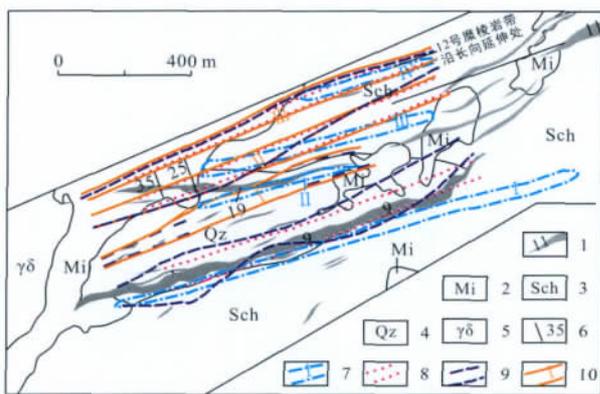
由 K、地电化学、体积应变异常带的对比研究,同时结合本区的地质实际,在本区圈定了 3 个可能的含矿异常带。

I 号异常带长约 855 m,最宽处约 85 m。主要圈定依据是其总体方位(68°)与矿区主要的含金糜棱岩化带一致(如 9 号糜棱岩化带的总体方位约为 71°),也与 19 号糜棱岩化带 0 线以东的位置与方位一致;该异常带 39 线在 -140 m 巷道处发现了糜棱岩及黄铁矿化,虽然金品位不高(0.01 g/t),但提供了深部找矿线索。地表出现了较多的小糜棱岩化带也预示深部可能有较大的糜棱岩化带;该异常带 55、39、8 线有地电化学异常;56 线与 39 线之间有体积应变异常带(图 5)。

II 号异常带长约 1136 m,最宽处约 72 m。主要圈定依据是其总体方位(68°)与矿区主要的含金糜棱岩化带一致;11 号糜棱岩化带(河台金矿主要的含金糜棱岩化带)沿走向延伸正好位于 II 号异常带内,说明该异常带可能是 11 号糜棱岩化带西部的延伸;25 线以东,19 号糜棱岩化带已基本在 II 号异常带之外,较好地解释了已划定的 19 号糜棱岩化带从 35 线开采至 25 线矿体变贫难以继续开采(可能沿 II 号异常带开采效果会更好);II 号异常带 39、8、56 线都有伽马能谱异常;55、39、11、8 线有地电化学异常;III 号体积应变异常带有近一半位于该异常带中(图 5)。

III 号异常带长约 1146 m,最宽处约 65 m。主要圈定依据是其总体方位(68°)与矿区主要的含金糜棱岩化带一致;目前 11 号糜棱岩化带北部约 100 m 处发现了 12 号含矿糜棱岩化带(-230 中段 128 线)。而 12 号糜棱岩化带向西沿走向延伸则正好位于 III 号伽马能谱异常带。所以同样认为,III 号伽马能谱异常带可能为 12 号糜棱岩化带向西延伸的结果;III 号异常带 39、8、56 线有伽马能谱异常;55、39、11、8、56 线有明显的地电化学异常;IV 号体积应变异常带全部位于该异常带中(图 5)。

综上所述,圈定的 3 个可能的含矿异常带都有地质依据,K、地电化学、体积应变异常带与这 3 个异常带都有较好的对应关系,建议对其进行验证。



1. 糜棱岩化带及其编号; 2. 混合岩; 3. 以片岩为主的变质岩组合; 4. 以片状石英岩为主的变质岩组合; 5. 黑云母斜长花岗岩; 6. 体积应变异常带及其编号; 7. 体积应变异常带及其编号; 8. K 异常带; 9. 地电化学异常带; 10. 预测的含矿带。

图 5 K、地电化学、体积应变异常带与预测的含矿带
Fig. 5 Anomalous belts of K, geo-electrochemical value, volumetric strain increment and the forecasting ore-bearing zones

5 结 论

(1) 伽马能谱 K 异常带指示了本区糜棱岩化及热液蚀变过程引起的钾化蚀变作用,金矿体与糜棱岩化带主要分布在钾化蚀变带中;地电化学异常带可能代表了本区不同深度矿体在地表的垂直投影;体积应变异常带及其附近有利于发展为本区的含矿糜棱岩化带。

(2) 9 号糜棱岩化带及其附近如上三种异常带的空间位置与 9 号糜棱岩化带的空间位置较为吻合;9 号糜棱岩化带围岩的地质特征(主要为云母石英片岩)与该带以外的三种异常带的地质特征较为一致;9 号糜棱岩化带及其附近三种异常带的特征(方位与规模)分别与该带以外同种异常带的特征较为一致。在同一构造成矿体系中,根据相似类比原则,说明以上三种方法在本区进行找矿预测可行。结合以上三种方法,圈定了 3 个可能的含矿异常带,建议对其进行验证。

致谢:感谢两位审稿老师及编辑部对本文提出的修改意见。

参考文献(References):

- 蔡建新. 2009. 华南不规则大陆边缘三叠纪楔合和复理石盆地充填. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文.
- 曹中煌, 罗先熔, 王培培, 王发明. 2010. 不同覆盖区地电化学提取法寻找铜镍矿对比研究. 地质与勘探, 46(3): 476-482.
- 陈骏, 王鹤年. 1993. 广东省河台含金剪切带中 REE 及其它微量元素的含量和分布特征. 矿床地质, 12(3): 202-211.
- 段嘉瑞, 何绍勋, 周崇智. 1992a. 剪切带型金矿——以广东河台金矿为例. 地质与勘探, 28(6): 6-11.
- 段嘉瑞, 何绍勋, 周崇智, 徐霏君. 1992b. 广东河台金矿构造特征及剪切带型金矿模式探讨. 中南矿冶学院学报, 23(3): 245-253.
- 龚发雄, 单业华, 李自安, 刘士林. 2009. 松辽盆地中部深部断层影响浅部次级断层发育的数值研究. 大地构造与成矿学, 33(3): 396-401.
- 何文武, 张文淮. 1993. 广东河台金矿成矿物理-化学条件及找矿方向. 矿床地质, 12(2): 120-128.
- 胡才志, 曾佐勋, 任建业, 祁鹏, 李志勇, 胡焯. 2010. 黄骅坳陷新生代沉降中心迁移: 数值模拟证据. 大地构造与成矿学, 34(4): 573-584.
- 李晓勇. 2002. 地电提取测量法寻找隐伏矿方法研究及应用. 大地构造与成矿学, 26(1), 92-96.

- 李新福, 湛培任. 2007. 河台金矿田糜棱岩带含矿性分析. 中国矿山工程, 36(1): 13-16.
- 林舸, 赵重斌, 张晏华, 王岳军, 单业华. 2005. 地质构造变形数值模拟研究的原理、方法及相关进展. 地球科学进展, 20(5): 549-555.
- 刘伟. 2004. 广东河台金矿床成因及成矿规律研究. 长沙: 中南大学硕士学位论文.
- 刘伟, 戴塔根, 黄满湘, 贺辉. 2006. 广东河台金矿矿体赋存规律及找矿前景. 黄金, 27(3): 9-13.
- 陆建军. 1993. 河台韧性剪切带型金矿床成矿作用地球化学研究. 南京大学学报, 29(2): 293-302.
- 罗先熔. 1994. 再论地电化学测量法寻找隐伏矿床. 桂林冶金地质学院学报, 14(3): 295-302.
- 罗先熔, 王卫民, 张佩华. 1997. 隐伏金矿地电化学异常形成机制及异常形态特征. 有色金属矿产与勘查, 6(6): 364-367.
- 罗先熔, 杨晓. 1989. 地电化学测量找寻隐伏矿床的研究及找矿预测. 地质与勘探, 25(12): 43-51.
- 潘勇飞. 1994. 伽马能谱法找金矿. 物探与化探, 18(6): 444-456.
- 钱建平, 陈宏毅, 吴小雷, 王自国, 蒙勇. 2011. 胶东望儿山金矿成矿构造分析和成矿预测. 大地构造与成矿学, 35(2): 221-231.
- 桑广森, 夏斌, 张胜利, 蔡周荣, 梁正中, 万志峰. 2010. 松辽盆地徐家围子三维构造应力场数值模拟研究. 大地构造与成矿学, 34(2): 196-203.
- 谭克仁. 2000. 金矿地电化学勘查新技术、新方法研究进展. 黄金科学技术, 8(1): 23-31.
- 王彪, 任广利, 王核, 林舸, 刘建平, 朱江建. 2009. EH4 连续电导率法在广东省河台金矿的应用. 矿物学报(增刊): 562-563.
- 王鹤年, 张景荣, 戴爱华, 凌井生, 陈础庭, 季明钧. 1989. 广东河台糜棱岩带蚀变岩型金矿床的地球化学研究. 矿床地质, 8(2): 61-71.
- 王斯亮, 李得钦. 2000. 河台金矿云西矿床富矿包特征及预测. 黄金学报, 2(1): 17-21.
- 文美兰, 罗先熔, 熊健, 曾南石, 侯宝宏, John Keelin. 2010. 地电化学法在南澳大利亚寻找隐伏金矿的研究. 地质与勘探, 46(1): 153-159.
- 伍思洪. 2005. 河台金矿田富矿包的特征. 黄金科学技术, 13(3): 33-35.
- 夏永健, 陈友东, 王斯亮, 龚朝阳, 龚贵伦, 张德圣, 陈广浩, 林舸. 2008. 地电化学测量在河台金矿找矿中的试验研究. 黄金, 29(9): 7-10.
- 岳石. 1990. 构造动力成岩成矿作用的实验研究. 大地构造与成矿学, 14(4): 325-332.
- 张伯友, 俞鸿年, 郭令智, 董平. 1993. 粤西深层次推覆构造带的成岩成矿规律. 地质找矿论丛, 8(3): 1-13.

- 张伯友,赵振华,夏斌,石满全,俞鸿年,郭令智. 1995. 广宁深层次推覆构造前缘陡倾带变形构造研究. *地震地质*, 17(4): 405-415.
- 翟伟,李兆麟,孙晓明,黄栋林,梁金龙,苗来成. 2006. 粤西河台金矿锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义. *地质论评*, 52(5): 690-699.
- 赵义来,刘亮明. 2011. 复杂形态岩体接触带成矿耦合动力学三维数值模拟: 以安庆铜矿为例. *大地构造与成矿学*, 35(1), 128-136.
- 钟增球,周汉文,游振东. 1997. 云开隆起区剪切带阵列及其与金矿成矿关系. *地球科学——中国地质大学学报*, 22(1): 20-26.
- 朱江建,陈广浩,龚贵伦,易金,蔡建新,龚朝阳,黄栋林,曾乔松,林舸. 2011a. 广东河台金矿糜棱岩化过程构造-流体成矿研究. *地学前缘*, 18(5): 67-77.
- 朱江建,曾乔松,易金,龚朝阳,李新福,黄栋林,王斯亮,夏永健,龚贵伦,陈广浩,林舸. 2011b. 地电化学测量在河台金矿找矿预测中的应用. *地质与勘探*, 47(5), 894-902.
- Bonnemaison M and Marcoux E. 1990. Auriferous mineralization in some shear zones: A three-stage model of metallogenesis. *Mineralium Deposita*, 25(2): 96-104.
- Cai J X and Zhang K J. 2009. A new model for the Indochina and South China collision during the Late Permian to the Middle Triassic. *Tectonophysics*, 467: 35-43.
- Frederico M F, Ginaldo A C, Rosa M S B and Kazuo F. 2010. Quartz recrystallization regimes, c-axis texture transitions and fluid inclusion reequilibration in a prograde greenschist to amphibolite facies mylonite zone(Ribeira Shear Zone, SE Brazil). *Tectonophysics*, 485: 193-214.
- Liu L M and Peng S L. 2003. Prediction of hidden ore bodies by synthesis of geological, geophysical and geochemical information based on dynamic model in Fenghuangshan ore field, Tongling district, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 81(1-3): 81-98.
- Liu L M, Zhao Y L and Zhao C B. 2010. Coupled geodynamics in the formation of Cu skarn deposits in the Tongling-Anqing district, China: Computational modeling and implications for exploration. *Journal of Geochemical of Exploration*, 106: 146-155.
- Massonne H J and Schreyer W. 1987. Phengite geobarometry based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite, and quartz. *Contrib Mineral Petrol*, 96: 212-224.
- Mercier R J. 1977. Stress in the lithosphere: inferences from steady-state flow of rocks. *Pure and Applied Geophysics*, 115: 199-226.
- Musumeci G. 2002. Sillimanite-bearing shear zones in syntectonic leucogranite: Fluid assisted brittle ductile deformation under amphibolites facies conditions. *Journal of Structural Geology*, 24(9): 1491-1505.
- Oliver N H S. 2001. Linking of regional and local hydrothermal systems in the mid-crust by shearing and faulting. *Tectonophysics*, 335: 147-161.
- Pfiffner O A and Ramsay J G. 1982. Constraints on geological strain rates: Arguments from finite strain states of naturally deformed rocks. *Journal of Geophysical Research*, 87: 311-321.
- Pryer L L. 1993. Microstructures in feldspars from a major crustal thrust zone: The Grenville Front, Ontario, Canada. *Journal of Structural Geology*, 15(1): 21-36.
- Stipp M S H and Heilbronner R. 2002. The eastern Tonale fault zone: a "natural laboratory" for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700°C. *Journal of Structural Geology*, 24: 1861-1884.
- Twiss R J. 1977. Theory and applicability of a recrystallized grain size paleopiezometer. *Pure and Applied Geophysics*, 115: 337-340.
- Zhang G L, Boulter C A and Liang J C. 2001. Brittle origins for disseminated gold mineralization in mylonite: Gaocun gold deposit, Hetai goldfield, Guangdong Province, South China. *Economic Geology*, 96: 49-59.
- Zhang K J and Cai J X. 2009. NE-trending Hepu-Hetai dextral shear zone in southern China: Penetration of the Yunkai promontory of South China into Indochina. *Journal of Structural Geology*, 31: 737-748.
- Zhang Y H, Lin G, Roberts P and Ord A. 2007. Numerical modelling of deformation and fluid flow in the Shuikoushan district, Hunan Province, South China. *Ore Geology Reviews*, 31: 261-278.
- Zhao C B, Hobbs B E, Mühlhaus H B and Ord A. 2001. Finite element modeling of rock alteration and metamorphic process in hydrothermal systems. *Communications in Numerical Methods of Engineering*, 17: 833-843.

Implication of Synthetical Methods in Prospecting for the Hetai Goldfield , Western Guangdong

ZHU Jiangjian^{1 2} , CHEN Guanghao³ , ZENG Qiaosong¹ , GONG Guilun^{1 2 4} , YI Jin^{1 2} ,
GONG Chaoyang⁵ , HUANG Donglin⁵ and LIN Ge¹

(1. CAS Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny , Guangzhou Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guangzhou 510640 , Guangdong , China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China; 3. CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology , South China Sea Institute of Oceanology , Chinese Academy of Sciences , Guangzhou 510301 , Guangdong , China; 4. The 11th Branch of Chinese Armed Police Gold Force , Ningxiang 410600 , Hunan , China; 5. Hetai Gold Mine , Zhaoqing 526127 , Guangdong , China)

Abstract: The Hetai gold deposit is the largest gold mine in Western Guangdong and Southeastern Guangxi , which is related to the ductile shear zone. The anomalous belts of K , geo-electrochemical value and volumetric strain increment were used for prospecting in order to find more gold orebodies in the Hetai goldfield. The anomalous belts of K indicate the K alteration took place during mylonitization and hydrothermal alteration. Auriferous veins and mylonitized zones commonly occur within or nearby the anomalous high value belts of K. The anomalous belts of geo-electrochemical value represent the vertical projection of allopelagic orebodies. The anomalous belts of volumetric strain increment and adjacent areas are possible auriferous mylonitized zone. The anomalous belts of K , geo-electrochemical value and volumetric strain increment correspond well with 9[#] mylonitized zone. These anomalous belts have been partially or locally proved to be closely related to gold mineralization. These demonstrate that the methods are feasible for prospecting of the deposit. By the contrast researches of the anomalous belt of K , geo-electrochemical value and volumetric strain increment , three possible auriferous anomalous belts are outlined , which might be plausible Au-bearing mineralized mylonitized zones.

Keywords: Hetai goldfield; mylonitized zone; numerical modeling; Gamma spectrometry; geoelectrical measurement; volumetric strain increment; prospecting